

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №1 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-1>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN116.pdf>

DOI: 10.15862/41TVN116 (<http://dx.doi.org/10.15862/41TVN116>)

Статья опубликована 24.02.2016.

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Квашнина Г.В., Чащин Е.А., Борзов С.Р., Ефремов В.Г. Резервирование электропитания и компенсация реактивной мощности силового привода лифтового оборудования // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №1 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN116.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/41TVN116

**УДК 621.3; 621.8**

**Квашнина Галина Владимировна**

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», Россия, Липецк  
Ассистент кафедры «Электрооборудования»  
E-mail: [g.v.kvashnina@ya.ru](mailto:g.v.kvashnina@ya.ru)

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=667627](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=667627)

**Чащин Евгений Анатольевич**

ФГБОУ ВПО «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева», Россия, г. Ковров<sup>1</sup>  
Заведующий кафедрой «Электротехники»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: [kanircha@list.ru](mailto:kanircha@list.ru)

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=42261](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=42261)

**Борзов Сергей Рудольфович**

ООО «Энергостройэксперт»<sup>2</sup>  
Инженер  
E-mail: [srborzov@mail.ru](mailto:srborzov@mail.ru)

**Ефремов Вячеслав Геннадьевич**

ООО «Энергостройэксперт»  
Инженер  
E-mail: [vgefremovv@yandex.ru](mailto:vgefremovv@yandex.ru)

**Резервирование электропитания и компенсация  
реактивной мощности силового привода  
лифтового оборудования**

**Аннотация.** В статье предложена методика резервирования замещением электропитания грузоподъемных механизмов и лифтов путем параллельного подключения резервного источника питания и суперконденсатора. Показана целесообразность использования суперконденсатора в качестве элемента, обеспечивающего запуск лифтового электропривода и снижающего нагрузку на аккумуляторную батарею.

Важным моментом в предложенной в статье методике выбора емкости аккумуляторной батареи, используемой в качестве резервного источника, является определение времени гарантированной работы электропривода непосредственно от конденсатора. В работе

<sup>1</sup> 601910, Владимирская обл., г. Ковров, ул. Маяковского, 19.

<sup>2</sup> Россия, г. Владимир, ул. Студенческая, 5-А, 506.

приведены результаты моделирования на примере резервирования лифта грузоподъемностью 630 кг с электроприводом мощностью 4,5 кВт. Показано, что аккумуляторная батарея при заявленных параметрах лифтового электрооборудования не способна поддерживать его функционирование в течение длительного интервала времени, составляющего согласно ГОСТ Р 51617-2000 до 24 час. Однако ее использование становится целесообразным при применении для резервного электропитания с целью обеспечения безаварийной высадки пассажиров путем доводки лифтовой кабины до ближайшего этажа. Определено, что время разряда конденсатора слишком мало чтобы использовать его в качестве автономного резервного источника. Показано, что наиболее рациональным является совместное использование аккумулятора и конденсатора.

**Ключевые слова:** система электроснабжения; резервирование; резервный источник; безотказность; резервирование замещением; аккумуляторная батарея; лифт; безопасность; электропривод; лифт; грузовой подъемник; надежность; электроснабжение; резервирование; резервный источник; безотказность; резервирование; аккумуляторная батарея; емкость; суперконденсатор; электропривод

## Введение

В настоящее время в России эксплуатируется 432915 лифтов<sup>3</sup>, которые перевозят ежедневно более 90 млн. человек. При этом, согласно результатам проведенного Комиссией по вопросам лифтового хозяйства Общественного совета Минстроя России совместно с Национальным лифтовым союзом анализа полученной из 82 регионов информации, в среднем по России 27,65% лифтов отработали нормативный срок<sup>4</sup>. Это делает актуальным решение вопросов связанных с повышением надежности как уже эксплуатируемых, так и вновь вводимых в эксплуатацию лифтов. Результаты исследований, проведенных нами ранее [1, 2], показали высокую эффективность резервирования электропитания электропривода лифта параллельным присоединением свинцово-кислотных аккумуляторных батарей (АБ), выполняющих так же функцию компенсатора реактивной мощности. Однако конечная скорость окислительно-восстановительных процессов при протекании электрохимических реакций, связанных с процессом заряда или разряда АБ не только ограничивает время разряда АБ и его емкость, номинальное значение которой регламентируется на 20-часовом режиме разряда, но и ограничивает КПД, предельные значения которого для АБ не превышают 90% [3, 4].

Известно, что в лифтах и грузовых подъемниках может быть использован электропривод на базе двигателей постоянного тока [5, 6]. Однако наиболее широко последнее время применяется энергоэффективный электропривод с асинхронным двухскоростным электродвигателем либо асинхронный электропривод [1], включенный по системе тиристорный регулятор напряжения с двухскоростным асинхронным двигателем. В последних случаях АБ подключается совместно с инвертором, и кроме резервирования электропитания выполняет так же роль компенсатора реактивной мощности. Однако вследствие большой ёмкости, АБ может вызывать перекомпенсацию реактивной мощности, что приведет к росту реактивной составляющей и как следствие к росту непроизводительных потерь электроэнергии. Кроме того использование АБ для электропитания асинхронного электропривода сопровождается необходимостью использования инвертора, что так же снижает общее КПД электропитания устройства резервирования электроснабжения на базе

<sup>3</sup> <http://mirnov.ru/rubriki-novostey/obshchestvo/tysjachi-liftoy-na-grani-sryva.html> (дата обращения 23.01.2016).

<sup>4</sup> <http://www.garant.ru/news/689958/#ixzz3xxrV0dBE> (дата обращения 20.01.2016).

АБ. Это делает актуальным решение задачи резервирования электропитания с использованием накопителей электроэнергии меньшей емкости, чем обеспечивает АБ, с возможностью высокой скорости разряда, и подключаемых, для сохранения высокого КПД, к сетям переменного тока, обеспечивающим электропитание силового привода лифтовых механизмов, без дополнительных инверторов. Один из путей решения поставленной задачи кратковременного снабжения электроэнергией с одновременной компенсацией реактивной мощности силового электропривода заключается в использовании, в качестве дополнительного накопителя электроэнергии, суперконденсатора (СК).

### Основная часть

Рассмотрим влияние совместного включения АБ и СК на примере резервирования электропитания лифта грузоподъемностью 630 кг с асинхронным электроприводом номинальной мощностью  $P = 4,5$  кВт. Номинальное напряжение электропривода  $U = 380$  В, номинальный ток  $I = 12,3$  А. Принимая данные величины за исходные, т.е. характерные для системы без учета компенсации, определим коэффициент мощности:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{\sqrt{3}UI} = \frac{4500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 12,3} = 0,56. \quad (1)$$

Видно, что значение коэффициента мощности значительно ниже рекомендованных ПУЭ величин, достигающих 0,95. Низкое значение коэффициента мощности приводит к увеличению потерь электроэнергии во всех токоведущих частях, что делает необходимым компенсацию реактивной мощности параллельным подключением СК с целью доведение коэффициента мощности до нормированной величины:

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi). \quad (2)$$

где  $\omega$  - круговая частота;  $\varphi$  - сдвиг фазы после компенсации реактивной мощности соответственно.

Коэффициент мощности после компенсации параллельным включением СК изменяется нелинейно (рис. 1) достигая максимального значения при использовании СК емкостью 2,81 Ф.

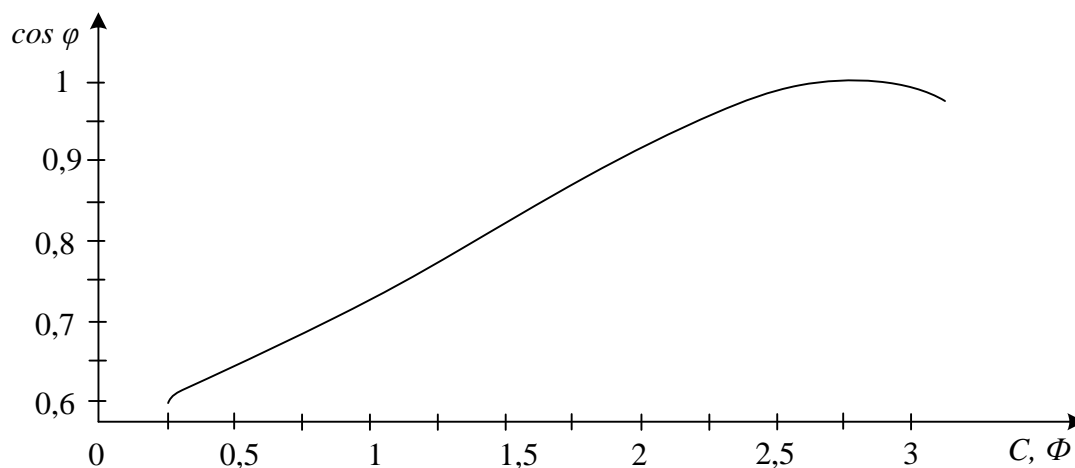


Рисунок 1. График зависимости коэффициента мощности от ёмкости СК (разработано авторами)

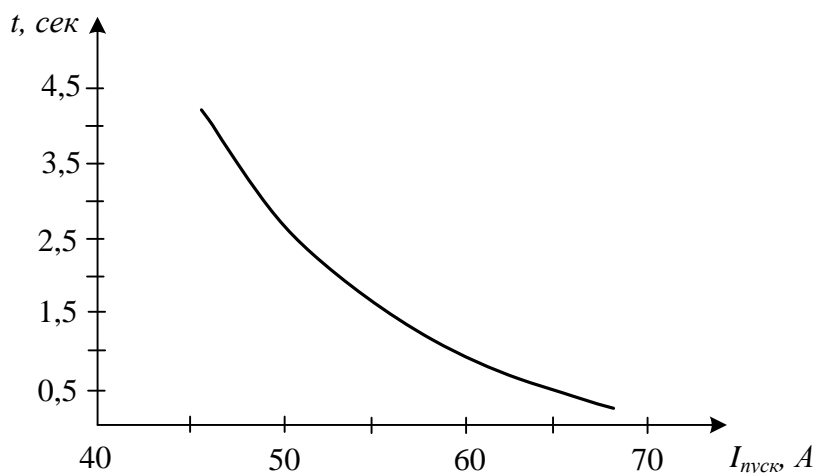
Известно, что емкость СК может превышать 3 Ф<sup>5</sup>, что достаточно для достижения максимального коэффициента мощности. Однако, учитывая, что допустимое напряжение между обкладками серийно выпускаемых СК не превышает 2,3-2,7 В, необходимо для работы на линейном напряжении 380 В объединять несколько СК в одном корпусе, что сопровождается снижением емкости СК. Анализ серийно выпускаемых элементов показал, что из номенклатуры серийно выпускаемых СК для работы с напряжением 380 В<sup>6</sup> можно использовать наборные СК фирмы «ТехноКор» типа 0,93/350-Б емкостью 0,93 Ф. Соединив два подобных СК параллельно, получим элемент эквивалентной емкостью 1,86 Ф. Использование СК указанной емкости обеспечивает увеличение коэффициента мощности с 0,566 до уровня 0,87 (см. рис. 1). Оценим возможность резервирования электропитания посредством только СК. Принимая, что номинальная мощность привода лифта остается неизменной, оценим пусковой ток, возникающий при компенсации параллельным включением СК. Номинальное значение тока после повышения коэффициента мощности составит:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi} = \frac{4,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87} = 7,86\text{А.} \quad (3)$$

Учитывая, что пусковой ток всегда больше номинального и полагая, что для большинства асинхронных двигателей общепромышленного назначения начальный пусковой ток может превышать номинальный ток в 5,5–7 раз для мощностей от 0,6 до 1000 кВт. Зная, что коэффициент мощности с учетом компенсации реактивной мощности электропривода лифта принимает значение 0,86, определим время разряда СК.

$$t = \frac{P \cdot C}{I^2}. \quad (4)$$

Исходя из этого, получим нелинейную зависимость времени разряда конденсатора от пускового тока (рис. 2).



**Рисунок 2.** Зависимость времени разряда СК от его емкости (разработано авторами)

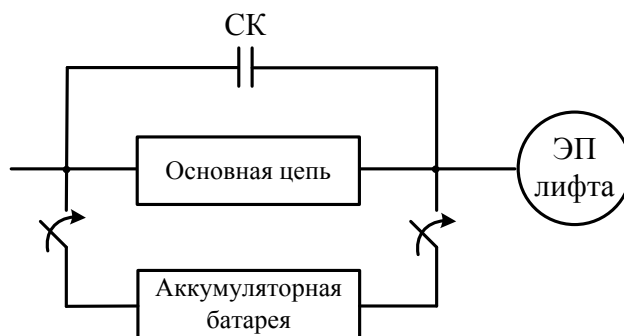
Из полученной зависимости (см. рис. 2) видно, что время разряда меняется нелинейно с 0,24 до 3,6 сек. Отметим, что диапазон номинальных скоростей современных лифтов массового применения от 0,18 до 4 м/с [7]. Расстояние между этажами многоэтажных домов

<sup>5</sup> <http://www.elec.ru/articles/kondensator-vmesto-akkumulyatora/> (дата обращения 15.01.2016).

<sup>6</sup> <http://pandia.ru/text/78/057/96067.php> (дата обращения 15.01.2016).

зависят от проекта, но в большинстве случаев варьируется от 2,5 до 2,8 м для панельных домов и до 3 м для кирпичных домов. Таким образом, полагая отсутствующей специальную автоматику, определяющую в какую сторону ехать лифту до ближайшего этажа в случае аварийного отключения сети электроснабжения, принимаем за максимальное, расстояние равное 3 м, а за минимальную, скорость равную 0,18 м/с. С учетом сделанных допущений получаем, что время, требуемое для гарантированного завершения рабочего цикла лифта, составляет 17 сек, что в 5 и более раз превышает время гарантированного электропитания, обеспечиваемого разрядом СК (см. рис. 2). Это подчеркивает отсутствие возможности обеспечить гарантированное резервирование электроснабжения при использовании только СК.

Как было показано выше, АБ имеет ряд недостатков, а СК несмотря на свои плюсы, такие как большой КПД, возможность разрядиться в короткое время и способность компенсировать реактивную мощность, тем не менее не способен обеспечить в одиночку резервирование силового электропривода в течение длительного интервала времени. Следовательно, целесообразно использовать СК в схеме электроснабжения привода лифта с целью подачи большого пускового тока при его совместном включении с аккумулятором (рис. 3). Таким образом, должен обеспечиваться более легкий пуск привода в случае отказа основной питающей цепи с помощью СК, способного быстро отдавать свою энергию, и обеспечение более продолжительного временного резервирования с помощью АБ.



**Рисунок 3.** Схема включения суперконденсатора (СК) в цепь резервного электроснабжения электропривода лифта (разработано авторами)

Оценим, на сколько изменится вероятность безотказной работы системы при установке дополнительного элемента, учитывая, что в цепи осуществляется временное резервирование АБ и СК. Выполним оценку изменения безотказности согласно разработанному нами ранее алгоритму [8]. Принимаем за необходимое, выполнение условия, при котором одновременно функционируют и АБ, и СК:

$$P = P_{аб} \cdot P_{ск} \quad (5)$$

В противном случае, при отказе СК система будет работать в условиях, аналогичных рассмотренным в [2], когда вероятность работоспособного состояния включает в себя не только условие одновременной работы обоих элементов, но и допускает нахождение в работе только одного из них при одновременном отказе второго, при отказе АБ конденсатору не хватит энергии для полного завершения аварийной остановки лифтовой кабины.

В первые секунды запуска привода нагрузку несет СК, а затем происходит переключение на питание от АБ. Таким образом, можно считать, что осуществляется резервирование замещением при условии ненагруженного резерва [9]. В этом случае вероятность работы АБ принимается из диапазона от 0,8 до 0,95, а вероятность работы всей резервирующей цепи определяется согласно [10].

$$p_{рц} = 1 - (1 - \prod_{i=1}^n p_i)^{m+1}, \quad (6)$$

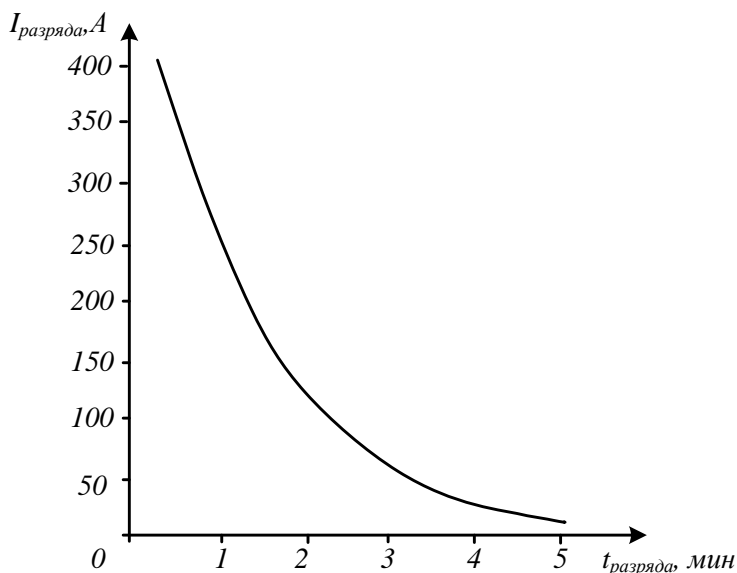
где  $p_{рц}$  – вероятность работы резервирующей цепи;  $p_i$  – вероятность работы  $i$ -го элемента резервной цепи при условии замещения последовательной цепочки из  $i$  элементов,  $i=1$ ;  $m$  – кратность резервирования,  $m = 1$ .

Учитывая принятые величины, получаем, что для  $p_{аб}=0,95$  вероятность работы резервирующей цепи  $p_{рц} = 0,9975$ ; а для  $p_{аб}=0,8$   $p_{рц} = 0,96$ . Видно, что при установке СК вероятность работы резервирующей цепи существенно повышаются по сравнению с исходной резервирующей цепью: на 5% и 20% соответственно. Задавая параметры интенсивности отказов основной и резервирующей цепи, оценим вероятность работы при резервировании замещением в случае, если интенсивность отказов основной цепи и резервного элемента различны:

$$p_{замещ} = e^{-\lambda t} + \frac{\lambda}{\lambda_{рц} - \lambda} \cdot (e^{-\lambda t} - e^{-\lambda_{рц} t}), \quad (7)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов основной цепи электроснабжения;  $t$  – наработка на отказ;  $\lambda_{рц}$  – интенсивность отказов резервирующей цепи.

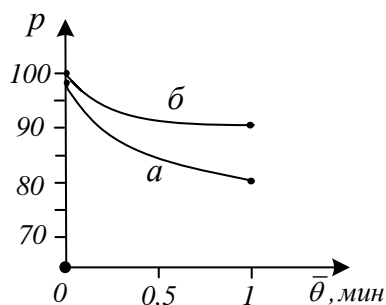
Принимая, что вероятность отказа АБ и СК в течении срока службы пренебрежимо малы, и учитывая, что средний срок службы СК составляет около 10 лет, а срок службы АБ – около 4,5 лет, получим из (7), что общая интенсивность отказов резервирующей цепи равна около  $10^{-4}$  год<sup>-1</sup>. Однако следует отметить, что интервал времени безотказной работы АБ и СК существенно меньше приведенных выше сроков эксплуатации элементов, и лимитируется временем разряда СК (см. рис. 2) и АБ (рис. 4). Из графиков видно, что АБ обеспечивает пусковой ток 50 А только в течении 3 мин. Причем учитывая, что рабочее напряжение АБ составляющее 12 В, преобразуется внешним инвертором из постоянного тока в переменный, частотой 50Гц, напряжением 380В, получаем, даже пренебрегая потерями в инверторе, рост пускового тока и как следствие сокращение интервала времени безотказной работы (см. рис. 4) до 1 мин.



**Рисунок 4.** Зависимость продолжительности разряда необслуживаемой АБ<sup>7</sup>

<sup>7</sup> <http://starol.org/index/0-57> (дата обращения 30.01.2016).

Таким образом, при расчете параметров безотказности основной цепи электроснабжения выбранного типа лифта с учетом его номинальных параметров в [1] получили, что вероятность отказа цепи основного электроснабжения при отсутствии резервной батареи будет равна  $q_{\text{оц}} = 2,7 \cdot 10^{-5}$ ; вероятность работы  $p_{\text{оц}} = 0,999973$ ; интенсивность отказа  $\lambda_{\text{оц}} = 0,01 \text{ год}^{-1}$ . При этом наработка на отказ СК ограничивается временем его разряда. Как было показано выше, время обеспечения электроснабжения от резервного источника питания составляет 17 сек. Используя выражение (7), оценим изменение вероятности отказа работы системы электроснабжения лифта относительно заявленной величины при использовании резервного источника для различных значений продолжительности отказа основного электроснабжения (рис. 5) и сравним рассчитанные данные с результатами, полученными для цепи без использования СК в работе [1], где проводилось сравнение вероятности работы без использования резерва и с использованием только АБ.



**Рисунок 5.** Вероятность обеспечения необходимого уровня безотказности функционирования системы лифта при разной длительности перерыва основного электроснабжения: а – без использования СК; б – при одновременном использовании АБ и СК (разработано авторами)

Повышение вероятности обеспечения безотказного функционирования (порядка 10%) можно объяснить тем, что СК снимает пиковую нагрузку с АБ, осуществляя пуск двигателя, в момент которого происходит максимальный скачок тока и расход энергии, а дальнейшее обеспечение функционирования резервной цепи осуществляется за счет энергии, накопленной в АБ.

### Заключение

Суперконденсатор как средство обеспечения резервного питания лифтового электропривода показало свою целесообразность только в случае совместного использования с АБ т.к. обеспечивает рост до 10% вероятности обеспечения уровня безотказности функционирования электропитания с 85% без использования СК до 95% при совместном использовании на интервале 0,5 мин. СК способствует снижению разряда аккумулятора на запуск двигателя, облегчая условия пуска. Однако как отдельный элемент он не целесообразен в связи с тем, что разряд происходит за время 3,6 сек., недостаточное с позиции возможности завершения аварийной доводки кабины до этажа и высадки пассажиров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Квашнина Г.В., Чашин Е.А., Борзов С.Р., Ефремов В.Г. Резервирование электропитания лифтового оборудования // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/216TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/216TVN515.
2. Квашнина Г.В., Чашин Е.А., Борзов С.Р., Ефремов В.Г. Компенсация реактивной мощности электропривода лифтового оборудования // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/76TVN615.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/76TVN615.
3. Потапов С.И. Электрооборудование автомобилей и тракторов: учебное пособие / С.И. Потапов, Е.А. Чашин.- Ковров: ФГБОУ ВПО «КГТА им. В.А. Дегтярева», 2014. 88 с.
4. Телегин В.В. Проектирование автономных систем электроснабжения потребителей // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции: в 16 частях. 2015. С. 124-125.
5. Попов М.Ю., Федяев Р.В. Эксплуатационные дефекты лифтов и лифтового оборудования // Интерстроймех-2009: Материалы международной научно-технической конференции. Самара: СГАСУ, 2009. С. 249-250.
6. Попов М.Ю., Федяев Р.В. Особенности эксплуатации лифтов и лифтового оборудования // Сборник науч. тр. ЛТИ / ТГАСУ, – Томск: ТГАСУ, 2009 – С. 65-68.
7. Патент изобретение № 2444471 РФ, МПК В66В5/04. Система аварийного торможения кабины лифта. Попов М.Ю., Федяев Р.В. (РФ). – № 2010119975/11; заявл. 18.05.2010; опубл. 10.03.2012.
8. Квашнина Г.В. Оценка обеспечения безотказности электроснабжения потребителей при использовании в системе временной избыточности / Омский научный вестник, Омск. 2014. №2 (130). С. 165-168.
9. Квашнина Г.В. Повышение безотказности электроснабжения временным резервированием при включении в цепь емкостного накопителя // Интернет-журнал «Наукоедение», 2014. №5 (24) <http://naukovedenie.ru/PDF/40TVN514.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
10. Матвеевский В.Р. Надежность технических систем: учебное пособие. М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2002. 113 с.



**Kvashnina Galina Vladimirovna**

Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk  
E-mail: [g.v.kvashnina@ya.ru](mailto:g.v.kvashnina@ya.ru)

**Chashchin Evgeniy Anatol'evich**

Kovrov State Technical Academy, Russia, Kovrov  
E-mail: [kanircha@list.ru](mailto:kanircha@list.ru)

**Borzov Sergey Rudol'fovich**

«Energostroyekspert» Co., Russia, Vladimir city  
E-mail: [kanircha@list.ru](mailto:kanircha@list.ru)

**Efremov Vyacheslav Gennad'evich**

«Energostroyekspert» Co., Russia, Vladimir city  
E-mail: [vgefremovv@yandex.ru](mailto:vgefremovv@yandex.ru)

## **The redundancy and reactive power compensation of elevator's power supply system**

**Abstract.** The method of replacement redundancy by parallel connection of back-up power source and supercapacitor to the power supply systems of hoisting apparatus and lifts has been suggested in the article. It was shown the feasibility of using supercapacitor as an element which made the start of lift's elevator and reduces the load for the battery.

An important point in the proposed method of selecting the battery capacity, which used as a back-up source, is the determination of the assured drive's operating time from a supercapacitor. The paper presents the approbation of methods and the results of simulation. The elevator with lifting capacity of 630 kg with the electric drive 4.5 kW is analyzed as an example. It is shown that the battery with the stated parameters of the elevator's electric is not able to maintain its operation for a long period of time. According to GOST R 51617-2000 this period up to 24 hours. However, the use of the battery becomes appropriate for ensure of incident-free passenger unloading by finishing the elevator car to the nearest floor. It is determined that the discharge time of the capacitor is too small to use it as a stand-alone backup source. We found that the most efficient is the sharing of the battery and capacitor.

**Keywords:** elevator; cargo elevator; reliability; power supply; redundancy; back-up power source; no-failure operation; storage battery; capacity; supercapacitor; electric drive

## REFERENCES

1. Kvashnina G.V., Chashchin E.A., Borzov S.R., Efremov V.G. Rezervirovanie elektropitaniya liftovogo oborudovaniya // Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» Tom 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/216TVN515.pdf> (dostup svobodnyy). Zagl. s ekrana. Yaz. rus., angl. DOI: 10.15862/216TVN515.
2. Kvashnina G.V., Chashchin E.A., Borzov S.R., Efremov V.G. Kompensatsiya reaktivnoy moshchnosti elektroprivoda liftovogo oborudovaniya // Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» Tom 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/76TVN615.pdf> (dostup svobodnyy). Zagl. s ekrana. Yaz. rus., angl. DOI: 10.15862/76TVN615.
3. Potapov S.I. Elektrooborudovanie avtomobiley i traktorov: uchebnoe posobie / S.I. Potapov, E.A. Chashchin.- Kovrov: FGBOU VPO «KGTA im. V.A. Degtyareva», 2014. 88 s.
4. Telegin V.V. Proektirovanie avtonomnykh sistem elektrosnabzheniya potrebiteley // Teoreticheskie i prikladnye voprosy nauki i obrazovaniya. Sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 16 chastyakh. 2015. S. 124-125.
5. Popov M.Yu., Fedyaev R.V. Ekspluatatsionnye defekty liftov i liftovogo oborudovaniya // Interstroyemekh-2009: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Samara: SGASU, 2009. S. 249-250.
6. Popov M.Yu., Fedyaev R.V. Osobennosti ekspluatatsii liftov i liftovogo oborudovaniya // Sbornik nauch. tr. LTI / TGASU, – Tomsk: TGASU, 2009 – S. 65-68.
7. Patent izobretenie № 2444471 RF, MPK B66B5/04. Sistema avariynogo tormozheniya kabiny lifta. Popov M.Yu., Fedyaev R.V. (RF). – № 2010119975/11; zayavl. 18.05.2010; opubl. 10.03.2012.
8. Kvashnina G.V. Otsenka obespecheniya bezotkaznosti elektrosnabzheniya potrebiteley pri ispol'zovanii v sisteme vremennoy izbytochnosti / Omskiy nauchnyy vestnik, Omsk. 2014. №2 (130). S. 165-168.
9. Kvashnina G.V. Povyshenie bezotkaznosti elektrosnabzheniya vremennym rezervirovaniem pri vklyuchenii v tsep' emkostnogo nakopitelya // Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2014. №5 (24) <http://naukovedenie.ru/PDF/40TVN514.pdf> (dostup svobodnyy). Zagl. s ekrana. Yaz. rus., angl.
10. Matveevskiy V.R. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem: uchebnoe posobie. M.: Moskovskiy gosudarstvennyy institut elektroniki i matematiki, 2002. 113 s.